

Étude

Empreinte environnementale du numérique mondial

GreenIT.fr
Frédéric Bordage



L'ÉQUIPE

GreenIT.fr fédère les acteurs du numérique responsable depuis 2004. Nous structurons la communauté en France et en Europe et diffusons des informations de qualité sur la rencontre entre numérique et développement durable. Média francophone de référence sur le sujet, GreenIT.fr publie régulièrement des études exclusives réalisées par des équipes d'experts et des contributeurs.

AUTEUR

Frédéric Bordage est l'expert français du numérique responsable et de la sobriété numérique. Depuis quinze ans, il anime la communauté GreenIT.fr et aide de grandes organisations privées et publiques à faire de la low-tech et de l'écoconception des axes d'innovation et de performance. Il est l'auteur de plusieurs livres sur le sujet, notamment « **Sobriété numérique : les clés pour agir** » chez Buchet-Chastel (2019) et « **Ecoconception web : les 115 bonnes pratiques** » chez Eyrolles (2012-2019).

AVEC LA CONTRIBUTION DE

- Fabien Abrikh, SGS
- Annaïg Antoine

RELECTURE

- Hugues Ferreboeuf, The Shift Project
- Julie Orgelet, DDemain

TRADUCTION (ENGLISH VERSION)

- Olivier Vergeynst, Green IT Belgium
- Agence 148
- Sébastien Solère, Fairness
- Dominique de Prémoré, Alysia

MISE EN PAGE ET INFOGRAPHIE

- Céline Berthaut, celineberthaut.fr
- Geneviève Van Diest, visuelle.be
- Nicole Paul, La Félix
- Bertrand Keller
- Sébastien Delorme, Ideance

Avec le soutien de l'Institut du numérique responsable (INR)

CONTACTS

Frédéric Bordage
GreenIT.fr
info@greenit.fr
06 16 95 96 01



LICENCE

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

SOMMAIRE

01 INTRODUCTION	5
1.1. Périmètre	5
1.2. Méthode	6
1.3. Modèle(s)	6
1.4. Indicateurs environnementaux	6
1.5. Présentation des résultats	7
02 EMPREINTE	8
2.1. L'univers numérique en 2019	8
2.1.1 Utilisateurs	8
2.1.2 Réseaux	8
2.1.3 Centres informatiques	9
2.1.4 Nombres d'utilisateurs et masse du numérique	9
2.2. Son empreinte	9
2.2.1 Empreinte	10
2.2.2 Contribution à l'empreinte de l'humanité	10
2.2.3 Comparaison avec l'empreinte de la France	11
2.2.4 Comparaison avec des usages quotidiens	11
2.3 Répartition des impacts par tiers et étapes du cycle de vie	12
2.3.1 Surtout la fabrication des équipements des utilisateurs	13
2.3.2 La production de l'électricité arrive en deuxième position, sauf pour les GES et l'épuisement des stocks d'énergies fossiles	14
2.3.3 Hiérarchie des sources d'impacts	15
2.3.4 Les impacts liés à la fabrication et à l'utilisation	15
2.3.5 Bilan énergétique par étape du cycle de vie	16
2.4 Répartition des impacts par indicateur environnemental	17
2.4.1 Contribution à l'épuisement des ressources abiotiques (hors énergie fossile)	17
2.4.2 Tension sur les stocks d'eau douce disponible	17
2.4.3 Contribution au réchauffement global (GES)	18
2.4.4 Consommation d'énergie primaire (EP)	18

03 ÉVOLUTION DE 2010 À 2025	20
3.1 L'univers numérique de 2010 à 2025	21
3.1.1 Nombre d'équipements : +50%	21
3.1.2 Deux fois moins d'équipements par utilisateur	22
3.1.3 Masse : x2,5	22
3.2 Évolution de l'empreinte	23
3.3 Le cas particulier des objets connectés et des télévisions	24
3.3.1 Objets connectés	24
3.3.2 Télévisions	25
3.4 Autres tendances notables	26
3.4.1 L'amélioration de l'efficacité énergétique ne suffit plus	26
3.4.2 Le réchauffement global augmente le plus	26
3.4.3 Le réseau augmente le plus	27
3.4.4 L'impact par utilisateur baisse puis augmente	28
04 RECOMMANDATIONS	29
4.1 Limiter le nombre d'objets connectés	29
4.2 Réduire la taille des écrans plats	31
4.3 Allonger la durée de vie	32
4.4 Ecoconcevoir les services numériques	34
4.5 Impact des préconisations et conclusion de l'étude	35
05 ANNEXES, NOTES MÉTHODOLOGIQUES	37
5.1. Modèle et unité fonctionnelle	37
5.1.1 Unité fonctionnelle	37
5.1.2 Phases du cycle de vie considérées	37
5.1.3 Modèle	37
5.2.1 Frontières du système	38
5.2.2 Critères de coupure	39
5.3. Inventaire	39
5.4. Durée de vie et taux d'équipement	39
5.5. Contrôle de cohérence	40
5.6. Bibliographie	40

01 INTRODUCTION

Cette étude porte sur la quantification de l'empreinte environnementale du numérique mondial et son évolution entre 2010 et 2025.

À chaque début de partie nous vous proposons une synthèse comme celle-ci dessous :

Cette étude porte sur l'ensemble des équipements électroniques qui manipulent des données binaires, à l'échelle planétaire.

Elle repose sur **une méthodologie d'analyse de cycle de vie (ACV)** et s'appuie sur **3 modèles de quantification d'impacts environnementaux (utilisateurs, réseaux, centres informatiques)** agrégés par un méta modèle.

Quatre indicateurs environnementaux ont été retenus :

- **Épuisement des ressources abiotiques (ADP)**
- **Réchauffement global (GES)**
- **Bilan énergétique (EP)**
- **Tension sur l'eau douce (Eau)**

Ces quatre indicateurs ne témoignent que partiellement de l'empreinte environnementale du numérique.

Parce que tout le monde le demande, nous avons aussi ajouté **la consommation électrique, qui n'est pas un indicateur pertinent** car il ne reflète pas les impacts environnementaux associés à sa production, qui sont par ailleurs déjà comptabilisés dans les 4 indicateurs précédents.

1.1. PÉRIMÈTRE

Le système étudié - numérique mondial - est constitué de tous les équipements électroniques qui utilisent des données binaires. Il s'agit par exemple (liste non exhaustive) des ordinateurs, smartphone, imprimantes, consoles de jeu vidéo, télévisions connectées à une box, etc. Voir la liste exhaustive en Annexes.

1.2. MÉTHODE

Pour quantifier les impacts environnementaux du numérique mondial, nous avons suivi **une démarche d'analyse de cycle de vie (ACV) simplifiée** en nous rapprochant le plus possible des préconisations ISO 14044/40. Le modèle de quantification des impacts environnementaux repose sur environ **2 000 données primaires**. Le modèle a été mis au point entre décembre 2018 et juillet 2019. Le recueil des données a été réalisé entre février et juillet 2019. Les calculs finaux ont été réalisés entre juin et juillet 2019. Le rapport a été rédigé durant l'été 2019.

1.3. MODÈLE(S)

Le modèle global utilisé repose sur les **15 années d'expérience de GreenIT.fr** en matière de **quantification d'impacts environnementaux du numérique**. Nous avons choisi **une architecture « trois tiers » classique : utilisateurs, réseaux, centres informatiques**. Chaque tiers fait l'objet d'un modèle spécifique. Un « meta modèle » agrège les 3 modèles spécifiques. Voir en Annexes pour plus de détail.

1.4. INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

Nous avons retenu **quatre indicateurs environnementaux** bien adaptés aux impacts du numérique et facilement compréhensibles par le grand public :



Épuisement des ressources abiotiques (ADP)

La contribution à l'épuisement des ressources abiotiques (ressources naturelles non renouvelables) évalue l'impact du numérique en matière d'épuisement des stocks de minerais.

Cet indicateur est exprimé en kg équivalent antimoine (kg eq. SB) ;



Réchauffement global (GES)

Les émissions anthropiques de différents gaz à effet de serre dans l'atmosphère contribuent au réchauffement global (Global Warming Potential ou GWP) de l'eau, de l'air et du sol. Ce réchauffement global se traduit par un dérèglement des climats locaux.

Cet indicateur est exprimé en kg équivalent CO₂ (kg eq. CO₂) ;



Consommation d'eau (EAU)

L'eau douce potable est la seconde ressource physiologique de base la plus importante pour les êtres humains et des millions d'autres formes de vie, juste après un air respirable. **En résumé : l'eau, c'est la vie !** L'eau bleue est l'eau facilement mobilisable par les êtres humains (en opposition à l'eau verte captable uniquement par les végétaux). Plus le numérique consomme d'eau bleue et moins elle est disponible pour d'autres usages à un instant t. Comme l'agriculture, l'industrie numérique est responsable de périodes de stress hydrique pendant lesquelles l'humanité doit arbitrer entre plusieurs usages de l'eau douce disponible car il n'y en a pas assez de disponible.

Cet indicateur est exprimé en litre d'eau bleue (l ou m³ d'eau).



Énergie primaire (EP) :

L'énergie primaire (Primary Energy) est l'énergie nécessaire pour fabriquer l'énergie finale (Final Energy). Dans le domaine du numérique, en fonction de l'étape du cycle de vie d'un équipement, on utilise différentes énergies primaires pour fabriquer différentes énergies finales. Par exemple, pour extraire des minerais, on utilise du gasoil que l'on transforme en force motrice permettant d'animer une excavatrice. Lors de l'utilisation, l'électricité est fabriquée à partir de différentes sources d'énergie primaire : rayonnement solaire, réaction nucléaire, combustion de charbon, etc.

Cet indicateur devrait être exprimé en MégaJoule (MJ) par unité fonctionnelle ou de temps. Mais pour faciliter la compréhension des ordres de grandeurs par le plus grand nombre, nous l'exprimons en kiloWattheure (kWh) par unité de temps.

Bien que la consommation d'électricité finale ne soit pas un indicateur environnemental, face à la demande constante de fournir cet indicateur, nous avons choisi de l'ajouter en apportant systématiquement cette précision.



Consommation électrique (énergie finale)

La production de l'électricité consommée par les équipements numériques est la source d'une partie des impacts environnementaux listés ci-dessus.

Cet indicateur est exprimé en kiloWattheure (kWh) par unité de temps.

1.5. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Compte tenu de la nature de l'étude, les chiffres sont généralement arrondis à la dizaine ou à la centaine la plus proche.

02 EMPREINTE



2.1. L'UNIVERS NUMÉRIQUE EN 2019

En 2019, l'univers numérique est constitué de **34 milliards d'équipements pour 4,1 milliards d'utilisateurs, soit 8 équipements par utilisateur**. Ce taux d'équipement cache de très fortes disparités selon la zone géographique observée. En 2019, la masse de cet univers numérique atteint **223 millions de tonnes, soit l'équivalent de 179 millions de voitures de 1,3 tonnes (5 fois le parc automobile français)**.

Le numérique n'est pas immatériel, bien au contraire. Il est constitué d'ordinateurs, écrans, smartphones, de millions de kilomètres de câbles en cuivre et de fibres optiques, de milliers de centres informatiques, de milliards de chargeurs de téléphones, etc.

On découpe généralement le numérique en **3 tiers : les utilisateurs, les centres informatiques, et les réseaux** qui relient les utilisateurs entre eux et aux centres informatiques.

2.1.1 UTILISATEURS

En 2019, le numérique mondial c'est environ **34 milliards d'équipements informatiques** (hors accessoires tels que les chargeurs, clavier, souris, clés USB, etc.) qu'il a fallu fabriquer, relier entre eux par des millions de kilomètres de câbles et qu'il faut alimenter en électricité.

Les équipements les plus répandus sont **les smartphones (3,5 milliards), les autres téléphones (3,8 milliards), les dispositifs d'affichages tels que les télévisions, écrans d'ordinateur, et vidéo-projecteurs (3,1 milliards)**. Et, bien évidemment, **les objets connectés** : enceinte Bluetooth, montre, thermostat, éclairage, etc. Quasi inexistant il y a encore 10 ans, ils seraient déjà **19 milliards en 2019 (de 8 à 30 milliards selon les études)**.

2.1.2 RÉSEAUX

Au milieu, le réseau relie les terminaux des utilisateurs entre eux et aux centres informatiques. Il est principalement constitué des équipements qui constituent la « **boucle locale** » aussi appelée « **dernier kilomètre** ». **Soit 1,1 milliard de box DSL / fibre, 10 millions d'antennes relais (2G à 5G) et environ 200 millions d'autres équipements actifs réseau WAN (réseau étendu hors les murs) et LAN (réseau local dans les murs)**.

2.1.3 CENTRES INFORMATIQUES

En comparaison, les quelques milliers de **centres informatiques (data center)** représentent le trait du crayon avec au plus **67 millions de serveurs hébergés** et à peine plus d'autres équipements informatiques les accompagnant.

2.1.4 NOMBRES D'UTILISATEURS ET MASSE DU NUMÉRIQUE

L'ensemble, est utilisé par environ **4,1 milliards d'êtres humains**, soit un peu plus de **8 équipements par utilisateur**, avec de très fortes disparités géographiques.

Cet univers numérique (hors êtres humains) pèse **223 millions de tonnes**, soit autant que **179 millions de berlines moyennes (1,3 tonne)**. Cela correspond à **5 fois le poids du parc automobile français**.

2.2. SON EMPREINTE

En 2019, le numérique mondial représente un **7^{ème} continent** de la taille de :
→ **2 à 3 fois celle de la France** (selon l'indicateur environnemental observé) ;
→ **et jusqu'à plus de 5 fois la France** si on considère d'autres indicateurs (masse, etc.).

Sa contribution à l'empreinte de l'humanité est loin d'être négligeable :

- Consommation d'énergie primaire (EP) : **4,2 %**
- Émissions de gaz à effet de serre (GES) : **3,8 %**
- Consommation d'eau (eau) : **0,2 %**
- Consommation d'électricité (Elec.) : **5,5 %***

Rapporté à des usages quotidiens, cela revient à :

- **GES : 1,5 milliard de salariés français allant travailler pendant 1 an ;**
- **Eau : 242 milliards de packs d'eau minérale (9 litres) ;**
- **Élec. : 82 millions de radiateurs électriques (1000 Watts) allumés en permanence.***

*La consommation électrique n'est pas un indicateur environnemental pertinent.

2.2.1 EMPREINTE

L'empreinte environnementale du numérique mondial est de l'ordre de :

- **6 800 TWh d'énergie primaire (EP) ;**
- **1 400 millions de tonnes de gaz à effet de serre (GES) ;**
- **7,8 millions de m³ d'eau douce (Eau) ;**
- **22 millions de tonnes d'antimoine (ADP).**

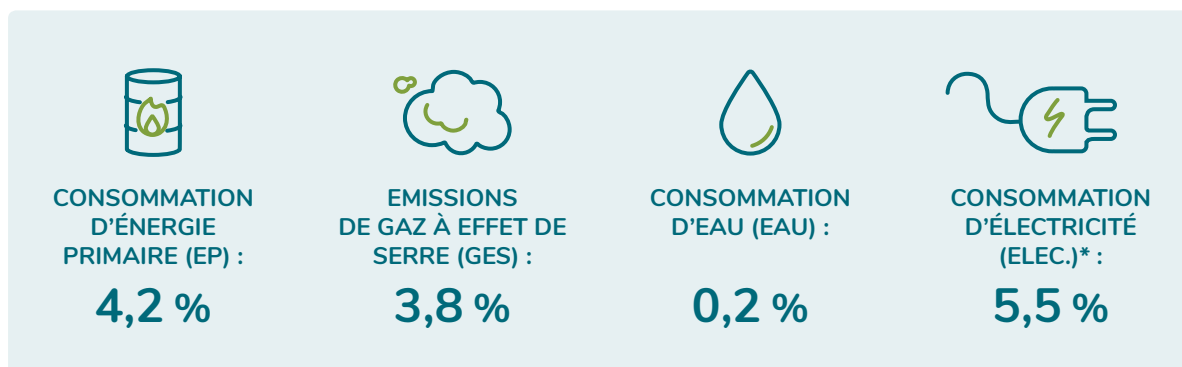
Indicateurs techniques et de flux :

- **223 millions de tonnes (masse), soit 179 millions de voitures de 1,3 tonne !**
- **1 300 TWh d'électricité consommée**

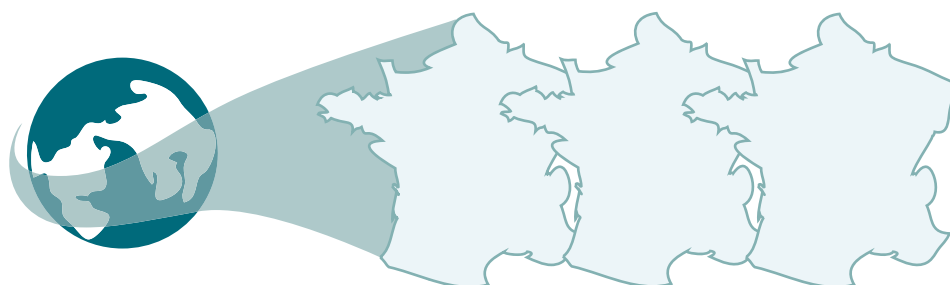
Ces ordres de grandeurs sont peu explicites, il faut donc les mettre en perspective. Par exemple en les comparant à l'empreinte globale de l'humanité, de la France, et à nos usages quotidiens.

2.2.2 CONTRIBUTION À L'EMPREINTE DE L'HUMANITÉ

Le numérique contribue notablement à alourdir la facture environnementale de l'humanité. Sa contribution à l'empreinte globale de l'humanité est loin d'être négligeable [7], [8], [9], [10] :



Ces ordres de grandeurs – **de 0,2 à 5,6 % de l'empreinte globale de l'humanité** - peuvent paraître faibles. Mais si le numérique était un pays, il aurait environ **2 à 3 fois l'empreinte de la France**.



2.2.3 COMPARAISON AVEC L'EMPREINTE DE LA FRANCE

En 2019, l'empreinte environnementale du numérique mondial représente **un 7^{ème} continent de la taille de 2 à 3 fois la France** (selon l'indicateur environnemental observé) et jusqu'à **plus de 5 fois la France** si on considère d'autres indicateurs (masse, etc.).

Part du numérique relativement à l'empreinte globale de la France* :

- **Émissions de gaz à effet de serre : 2**
- **Consommation d'eau : 2,1**
- **Consommation d'électricité : 2,6**
- **Masse : 5 fois le parc automobile français**

* en nombre de fois l'empreinte d'un·e français·e.

2.2.4 COMPARAISON AVEC DES USAGES QUOTIDIENS

Rapporté à des usages quotidiens et / ou de la vie courante, les compteurs s'affolent !

Impact du numérique mondial en 2019 exprimé en équivalence d'usages de la vie courante :



Émissions de gaz à effet de serre :

- **116 millions de tours du monde en voiture (42 000 kms)**
- **1,5 milliard de salariés français parcourant chaque jour 25 km aller-retour en voiture pour aller travailler, pendant 1 an.**



Eau :

- **242 milliards de packs d'eau minérale (9 litres)**
- **3,6 milliards de douches**



Conso. d'électricité :

- **82 millions de radiateurs électriques (1000 Watts) allumés en permanence**

2.3 RÉPARTITION DES IMPACTS PAR TIERS ET ÉTAPES DU CYCLE DE VIE

De par leur nombre (**34 milliards**), les équipements des utilisateurs sont la principale source d'impacts du numérique mondial.

Leur fabrication concentre systématiquement le plus d'impacts avec **30 % du bilan énergétique global, 39 % des émissions de GES, 74 % de la consommation d'eau et 76 % de la contribution à l'épuisement des ressources abiotiques.**

Si on y ajoute les impacts associés à la production de l'électricité qu'ils consomment, **les équipements utilisateurs (hors box DSL / fibre) totalisent de 59 % à 84 % des impacts !**

En 2019, la hiérarchie des sources d'impacts est la suivante, par ordre décroissant d'importance :

- 1. Fabrication des équipements utilisateurs ;**
- 2. Consommation électrique des équipements utilisateurs ;**
3. Consommation électrique du réseau ;
4. Consommation électrique des centres informatiques ;
5. Fabrication des équipements réseau ;
6. Fabrication des équipements hébergés par les centres informatiques (serveurs, etc.).

Alors que l'informatique – ordinateurs et dispositifs d'affichage associés – concentrait de **33 % à 40 % du total des impacts du numérique** en 2010, un basculement s'opère depuis 2015, qui se renforce nettement en 2019, avec principalement 3 nouvelles sources d'impacts :

- 1. Les télévisions : 9 à 23 % des impacts ;**
- 2. Les smartphones : 6 à 19 % des impacts ;**
- 3. Les objets connectés : 10 à 14 % des impacts.**

2.3.1 SURTOUT LA FABRICATION DES ÉQUIPEMENTS DES UTILISATEURS

Les équipements utilisateurs constituent la principale source d'impacts environnementaux, totalisant **de 59 % à 84 % du total des impacts** selon l'indicateur environnemental observé. Viennent ensuite le réseau et les centres informatiques.

%	Énergie	GES	Eau	Élec.	Ressources
Utilisateurs	60%	63%	83%	44%	75%
Réseau	23%	22%	9%	32%	16%
Centres informatiques	17%	15%	7%	24%	8%

Répartition des impacts du numérique mondial en 2019


Quel que soit l'indicateur observé, **l'étape de fabrication des équipements utilisateurs est toujours la principale source unitaire d'impacts**, suivie par leur consommation électrique. On note ensuite systématiquement, par ordre décroissant d'importance, la consommation électrique du réseau, puis des centres informatiques.

Concernant la consommation d'eau et la contribution à l'épuisement des ressources abiotiques (hors énergie fossile), elle est très majoritairement **(respectivement 83 % et 75 %)** associée à la fabrication des équipements utilisateurs.




2.3.2 LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ ARRIVE EN DEUXIÈME POSITION, SAUF POUR LES GES ET L'ÉPUISEMENT DES STOCKS D'ÉNERGIES FOSSILES

Par exemple, pour 2019 sur les indicateurs **Énergie Primaire (EP)** et **Réchauffement Global (GES)** :

 Bilan EP	Fabrication	Utilisation	Total
Utilisateurs	30%	30%	60%
Réseau	3%	20%	23%
Centres informatiques	2%	15%	17%
	35%	65%	

Bilan énergie primaire 2019

La consommation d'énergie primaire est principalement due à **la production de l'électricité, puis des équipements utilisateurs.**

 Bilan GES	Fabrication	Utilisation	Total
Utilisateurs	40%	26%	66%
Réseau	3%	16%	19%
Centres informatiques	1%	14%	15%
	44%	56%	

Bilan émissions de gaz à effet de serre 2019

Les émissions sont principalement dues à **la fabrication des équipements, puis à la production de l'électricité.**

2.3.3 HIÉRARCHIE DES SOURCES D'IMPACTS

On a schématiquement la hiérarchie suivante pour les sources d'impacts, par ordre décroissant :

1. **Fabrication des équipements utilisateurs ;**
2. **Consommation électrique des équipements utilisateurs ;**
3. Consommation électrique du réseau ;
4. Consommation électrique des centres informatiques ;
5. Fabrication des équipements réseau ;
6. Fabrication des équipements et des centres informatiques (serveurs, etc.).

L'empreinte environnementale est d'abord liée à la quantité d'équipements fabriqués. C'est d'abord le nombre d'équipements **(34 milliards dont 15 milliards d'objets connectés et informatique embarquée)** qui explique le poids des équipements utilisateurs dans le bilan total. La logique est la même pour les équipements réseau **(1,3 milliard dont plus de 1 milliard de modem ADSL / fibre) et les centres informatiques (67 millions de serveurs).**

2.3.4 LES IMPACTS LIÉS À LA FABRICATION ET À L'UTILISATION

Fabrication des équipements utilisateurs.

Lors de la fabrication, la plupart des ACV montrent que ce sont surtout **les étapes d'extraction des matières premières (minerais notamment) et leur transformation en composants électroniques** qui induisent des impacts : **épuisement de ressources abiotiques, pollutions, émissions de GES, etc.**

Consommation électrique.

La production de l'électricité consommée par les utilisateurs induit différents impacts en fonction de la nature de l'énergie primaire utilisée (rayonnement solaire, vent, charbon, uranium, etc.) et du processus de transformation (combustion, réaction nucléaire, etc.). À l'échelle planétaire elle est principalement **responsable de l'épuisement des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz, uranium, etc.) et de l'émission de gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement global.**

Centres informatiques.

Si on ne considère que les indicateurs EP et GES, la consommation électrique est logiquement le principal poste d'impact. En revanche, si considère les autres indicateurs (ADP, Eau, etc.), c'est bien **la fabrication des équipements électroniques hébergés par les centres informatiques (serveurs et switches notamment) qui concentre les impacts.**

2.3.5 BILAN ÉNERGÉTIQUE PAR ÉTAPE DU CYCLE DE VIE

Si on considère l'indicateur « **énergie primaire** » qui totalise l'énergie dépensée lors de la fabrication et lors de l'utilisation, trois profils d'équipements se détachent nettement lorsqu'on essaie de comprendre à quelle étape du cycle de vie ont lieu les impacts :

1. **Les équipements d'infrastructure ;**
2. **Les équipements de loisir ;**
3. **Les équipements « traditionnels ».**

Équipements d'infrastructure

Hors câbles réseau, ils représentent environ **4% des équipements et 0,5% de la masse de l'univers numérique**. Les équipements d'infrastructure sont ceux qui fonctionnent 24 heures sur 24 et 365 jours par an, comme les **routeurs, switches, antennes-relai, serveurs, etc.** Logiquement, l'empreinte de ces appareils se situe principalement sur **la phase d'utilisation**. Elle est principalement liée à **la production de l'électricité** qu'ils consomment.

Équipements de loisir

Hors objets connectés, ils représentent environ **22% des équipements utilisateurs et 20% de leur masse**. A l'exception notable des télévisions, il s'agit des appareils qui permettent de se divertir : **vidéo-projecteurs (home cinéma), boîtier TV (décodeur), console de jeu vidéo, etc.** Leur bilan énergétique est nettement associé à **la phase d'utilisation**.

Équipements « traditionnels »

Hors objets connectés, ils représentent environ **73% des équipements utilisateurs et 64% de leur masse**. Nous classons dans cette catégorie tout ce qui n'est pas un équipement d'infrastructure ou de loisir : **smartphones et téléphones, tablettes, ordinateurs portables et de bureau, écran d'ordinateur, etc.** Avec une exception notable : les télévisions qui sont un équipement de divertissement mais dont le profil énergétique est identique à celui des équipements traditionnels. Pour cette catégorie d'équipements, **c'est la fabrication qui concentre les impacts**.

2.4 RÉPARTITION DES IMPACTS PAR INDICATEUR ENVIRONNEMENTAL


Si on analyse la situation indicateur par indicateur, la situation est assez contrastée, avec cependant :

→ **une prédominance des impacts liés aux équipements utilisateurs ;**

→ **deux schémas qui se dessinent.**

Par exemple pour 2019 :


2.4.1 CONTRIBUTION À L'ÉPUISEMENT DES RESSOURCES ABIOTIQUES (HORS ÉNERGIE FOSSILE)

 Bilan Ressources	Fabrication	Utilisation	Total
Utilisateurs	76%	0%	76%
Réseau	16%	0%	16%
Centres informatiques	8%	0%	8%
	100%	0%	

Bilan ressources abiotiques 2019

L'épuisement des stocks de ressources abiotiques (minerais notamment) hors énergies fossiles est, en toute logique, concentrée dans la fabrication des équipements, notamment des utilisateurs, à cause de leur nombre.


2.4.2 TENSION SUR LES STOCKS D'EAU DOUCE DISPONIBLE

 Bilan Eau	Fabrication	Utilisation	Total
Utilisateurs	75%	9%	84%
Réseau	2%	6%	8%
Centres informatiques	2%	6%	7%
	79%	21%	

Bilan eau 2019

La tendance est identique pour les tensions sur les stocks d'eau douce. Elle est cependant légèrement modulée par la production électrique qui en requiert de grande quantité à l'échelle du numérique mondiale, de l'ordre de **1 614 millions de m³ (contre 3 fois plus pour la fabrication des équipements).**

2.4.3 CONTRIBUTION AU RÉCHAUFFEMENT GLOBAL (GES)


 Bilan GES	Fabrication	Utilisation	Total
Utilisateurs	40%	26%	66%
Réseau	3%	16%	19%
Centres informatiques	1%	14%	15%
	44%	56%	

Bilan émissions de gaz à effet de serre 2019

Sans surprise, **les émissions de gaz à effet de serre** sont directement corrélées à **la combustion d'énergie primaire fossile**. On en utilise à toutes les étapes du cycle de vie d'un équipement numérique : extraction des minerais, transformation en composants électroniques, distribution et commercialisation, utilisation et fin de vie. **La fabrication des équipements utilisateurs** reste le principal poste d'émission, suivi par leur alimentation en électricité puis par celle des équipements réseau et des centres informatiques.

En grande masse, c'est bien **la phase d'utilisation qui émet le plus de gaz à effet de serre**. C'est, paradoxalement, une bonne nouvelle. A volume constant d'émissions de GES, plus la phase d'utilisation augmente et plus cela signifie que **la durée de vie des équipements augmente** : les impacts associés à la phase de fabrication sont « amortis » sur une période plus longue.

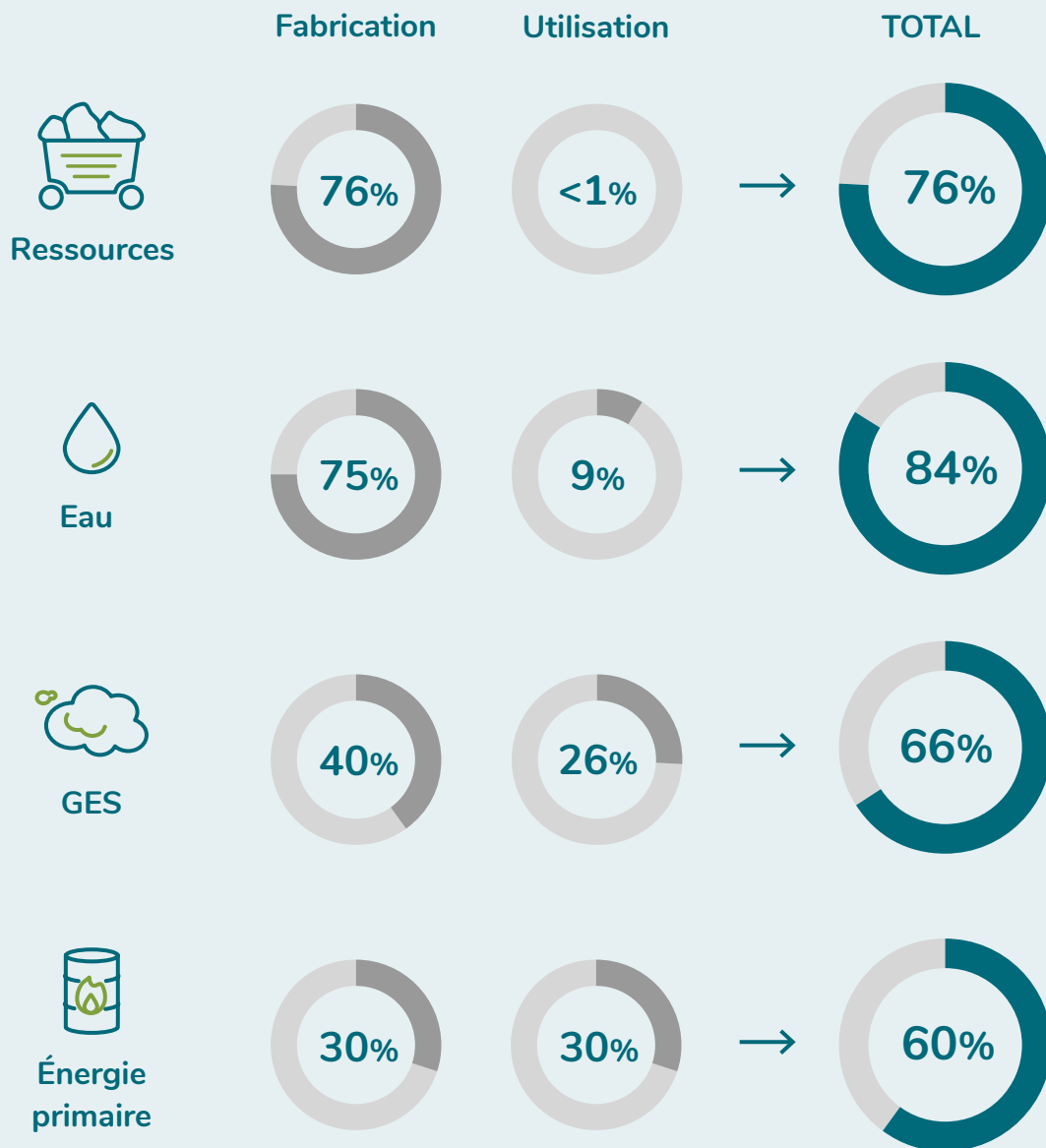
2.4.4 CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE (EP)

 Bilan EP	Fabrication	Utilisation	Total
Utilisateurs	30%	30%	60%
Réseau	3%	20%	23%
Centres informatiques	2%	15%	17%
	35%	65%	

Bilan énergie primaire 2019

Le bilan énergétique se concentre sur **la phase d'utilisation avec 2/3 de l'énergie dépensée à cette étape du cycle de vie**. Le réseau et les centres informatiques sont sur-représentés du fait du fonctionnement 24 heures sur 24 et 365 jours par an.

PART DES UTILISATEURS DANS L'EMPREINTE DU NUMÉRIQUE MONDIAL EN 2019



03 ÉVOLUTION DE 2010 À 2025

En nombre d'équipements, la taille de l'univers numérique va quintupler entre 2010 et 2025. Cette expansion se traduit par 2 à 3 fois plus d'impacts environnementaux en 15 ans (selon l'indicateur observé). Une hausse inédite tant par son ampleur que par sa rapidité.

Entre 2010 et 2025, le numérique passe ainsi de l'ordre de **2,5 % de l'empreinte de l'humanité à un peu moins de 6 %**. La plus forte progression est celle des émissions **de gaz à effet de serre qui vont passer de 2,2 % en 2010 à 5,5 % en 2025**.

En 2025, les utilisateurs concentreront de 56 % à 69 % des impacts. Par exemple, 62 % des émissions de GES du numérique seront liées aux utilisateurs, dont 35 % à la fabrication de leurs équipements.

En dehors de la croissance du nombre d'utilisateurs, l'augmentation de l'empreinte du numérique mondial est principalement due :

- **aux objets connectés** dont le nombre sera multiplié par 48 entre 2010 et 2025 ;
- **au doublement de la taille des écrans** (télévisions notamment) entre 2010 et 2025 ;
- **à un tassement des gains en matière d'efficacité énergétique ;**
- **à l'équipement des pays émergents** dont l'électricité est souvent plus impactante que celle des pays occidentaux.

D'un point de vue social / sociétal, le quintuplement du poids du numérique en 15 ans ne peut qu'augmenter les tensions sur les matières premières et notamment renforcer le rôle des minerais dans le financement des conflits armés en Afrique et en Asie, d'où l'appellation de « minerais des conflits ».

3.1 L'UNIVERS NUMÉRIQUE DE 2010 À 2025

Le nombre d'équipements vendus (ordinateur, console de jeu, etc.) se stabilise à partir de 2015 (+10 % seulement entre 2015 et 2025), à l'exception notable **des objets connectés dont le nombre est multiplié par x48 en 15 ans (48 milliards en 2025).**

	2010	2015	2020	2025	Unité
Utilisateurs	2 023	3 185	4 700	5 500	Millions d'utilisateurs
Équip. classiques	13 531	18 405	19 041	20 278	Millions d'équipements
Taux d'équipement	7	6	4	4	Equipement /utilisateur
Objets connectés	1 000	9 605	20 315	48 272	Millions d'équipements
Equip. classiques + objets connectés	14 531	28 010	39 356	68 550	Millions d'équipements
Masse	128	164	236	317	Millions de tonnes

L'univers numérique de 2010 à 2025

3.1.1 NOMBRE D'ÉQUIPEMENTS : +50%

Bien que le nombre d'équipements « standard » (hors objets connectés) ait fortement augmenté entre 2000 et 2015, il se stabilise globalement ensuite entre 2015 et 2025 car le marché est saturé. On note ainsi une hausse « modérée » de +50 % d'équipements entre 2010 et 2025.

Sur la dernière décennie étudiée (2015-2025), cette tendance cache une régression du nombre de terminaux standards (ordinateur, tablette, featured phones, consoles de jeu vidéos, etc.) en activité et une augmentation du nombre de smartphones.

La tendance la plus notable est l'explosion du nombre d'objets connectés et de l'informatique embarquée (désormais présente dans les robots ménagers, les voitures, etc.). On passe ainsi de **1 milliard d'objets connectés** en 2010 à **48 milliards** en 2025. Soit un facteur 10 entre 2010 et 2015 puis un facteur 2 (doublement) ensuite tous les 5 ans jusqu'à 2025.

3.1.2 DEUX FOIS MOINS D'ÉQUIPEMENTS PAR UTILISATEUR

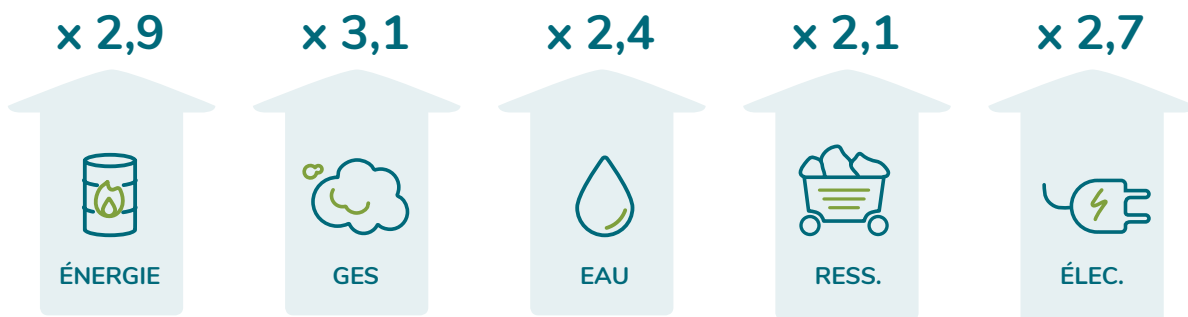
Hors objets connectés, le nombre d'utilisateurs augmente plus vite que le nombre d'équipements mis sur le marché, le taux d'équipement chute donc d'environ 7 appareils par utilisateurs en 2010 à 3,5 en 2025. Cette tendance est principalement due au fait que les pays développés étant saturés, ce sont surtout les pays émergents qui s'équipent, avec un pouvoir d'achat plus réduit. Cette tendance mondiale cache évidemment de très forte disparité de taux d'équipements entre un pays développé comme la France et un pays émergent comme le Soudan.

3.1.3 MASSE : x2,5

Bien que la masse totale par utilisateur baisse légèrement, de 63 kg à 58 kg entre 2010 et 2025, la masse totale (équipements utilisateurs, réseaux, centres informatiques) est multipliée par plus de 2,5 en 15 ans. Elle passe de 128 millions de tonnes en 2010 à 317 millions de tonnes en 2025. Cela explique les tensions sur les matières premières, notamment les minerais « des conflits » et autres terres rares. Les premiers financent des groupes armés en Afrique (RDC pour le Coltan par exemple) et en Asie. La Chine livre quant à elle une véritable guerre économique au reste du monde au travers des terres rares.

3.2 ÉVOLUTION DE L'EMPREINTE

En valeur absolue, selon l'indicateur observé, l'empreinte du numérique double ou triple en 15 ans. C'est une progression extrêmement rapide.



On a ainsi une forte progression de tous les indicateurs entre 2010 et 2025.

On note cependant deux périodes distinctes :

- La croissance est particulièrement forte entre 2010 et 2020 ;
- Elle ralentit ensuite entre 2020 et 2025.

L'évolution en « dents de scie » avec une baisse en 2020 et une augmentation en 2025 s'explique par de nombreux facteurs qui s'influencent les uns aux autres. Par exemple :

- Les pays émergents à plus faible taux d'équipement prennent le relais des pays développés ;
- Les progrès en matière d'efficacité énergétique ralentissent ;
- Les ventes d'appareils standards (ordinateurs, etc.) se stabilisent alors que de nouveaux équipements (IoT) apparaissent ;

En valeur relative, c'est à dire rapportée à l'empreinte de l'humanité, qui augmente elle aussi, la progression est plus lente. Elle reste cependant bien plus rapide que la majorité des autres secteurs de l'économie.



À noter la très forte croissance de la demande mondiale en électricité qui fait passer la hausse de la consommation électrique du numérique d'un facteur 2,7 (valeur absolue) à 1,9 (valeur relative) : le numérique n'est pas, loin s'en faut, le seul contributeur à la hausse de la consommation électrique dans le monde.

3.3 LE CAS PARTICULIER DES OBJETS CONNECTÉS ET DES TÉLÉVISIONS

La part des télévisions et des objets connectés dans celle du numérique mondial va être multipliée par 5 entre 2010 et 2025 passant de **5% à 15 % des impacts en 2010** à **27 % à 43 % en 2025**.



3.3.1 OBJETS CONNECTÉS

La croissance du nombre d'objets connectés est exponentielle : de **1 milliard** en 2010 à **48 milliards** en 2025, soit grosso modo **50 fois plus** en 15 ans.

Leur contribution aux impacts de l'univers numérique passe ainsi de moins de **1%** (tous indicateurs environnementaux confondus) en 2010 à entre **18 % et 23 %** en 2025. C'est énorme !



Heureusement, la majorité de ces appareils sont petits et / ou ne sont pas (encore) tous équipés d'un grand dispositif d'affichage. Cela limite les impacts environnementaux liés à leur fabrication.

Outre l'épuisement des ressources abiotiques et l'entropie matière [1] qu'ils génèrent, ces objets dispersent et atomisent également la « pollution numérique ».

Il est donc crucial de juguler la croissance de ce marché, pas forcément d'un point de vue économique, mais surtout en ce qui concerne le nombre d'équipements fabriqués.

Il est également crucial de s'assurer de l'ouverture de leurs APIs afin de garantir qu'ils ne deviendront pas obsolètes quand la société qui les alimente en données fera faillite...

3.3.2 TÉLÉVISIONS

Les télévisions numériques – connectées à un décodeur / boîtier TV lui-même connecté à un box DSL / fibre et les smart TV – vont passer **de 525 millions en 2010 à 1,2 milliard en 2025**. Cette croissance est la plus forte de l'étude, juste après celle des objets connectés, et très loin devant celle du marché des smartphones, déjà saturé.

Associé à un doublement de la taille des écrans - d'une diagonale moyenne de 31 pouces en 2010 à 65 pouces en 2025 – le doublement du parc en 15 ans va considérablement augmenter la contribution des télévisions à l'empreinte globale du numérique. Elle passe ainsi **de 5 % à 15 % en 2010 à 9 % à 26 % en 2025**.

En section 4.2, nous proposons quelques pistes et alternatives pour tenter de contenir cette source d'impacts.



3.4 AUTRES TENDANCES NOTABLES



3.4.1 L'AMÉLIORATION DE L'EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE NE SUFFIT PLUS

Jusqu'à présent, l'efficacité énergétique des équipements numériques progressait sans interruption. Le nombre de traitements par joule doublait ainsi tous les deux ans [loi de Koomey]. Pourtant, **la consommation électrique annuelle du numérique va presque tripler entre 2010 et 2025** passant d'environ 700 TWh à 1900 TWh. Cela signifie que les gains d'efficacité énergétique sur la phase d'utilisation, qui se tassent depuis quelques années, ne compensent plus la hausse continue de la taille des écrans (effet rebond).

Le bilan énergétique global, incluant notamment l'énergie grise nécessaire pour fabriquer les équipements, est à l'avenant avec environ 3 400 TWh d'énergie primaire en 2010 contre 10 000 TWh en 2025.

Le numérique va consommer 3 fois plus d'énergie à la fois parce que le nombre d'équipements augmente, mais aussi parce que certains équipements consomment de plus en plus d'énergie. C'est notamment le cas des écrans d'ordinateurs et des télévisions dont la diagonale va doubler entre 2010 et 2025.

3.4.2 LE RÉCHAUFFEMENT GLOBAL AUGMENTE LE PLUS

Ce sont les émissions de gaz à effet de serre qui augmentent le plus vite avec 3,1 fois plus d'émissions entre 2010 et 2025. On passe ainsi de 738 millions de tonnes équivalent CO₂ en 2010 à 2 278 en 2025. Cela s'explique à la fois par le mix énergétique particulièrement émetteur des pays qui s'équipent le plus sur la période 2015-2025 : Asie et pays émergents. Mais aussi par le fait qu'on fabrique de plus en plus d'équipements. En 2025, plus d'un tiers des émissions de GES du numérique (35 %) seront dues à la fabrication des terminaux utilisateurs.

3.4.3 LE RÉSEAU AUGMENTE LE PLUS

Parmi les 3 tiers – utilisateurs, réseaux, centres informatiques – c'est le réseau dont la part augmente le plus en valeur relative.

Cela s'explique par le fait que la part des utilisateurs baisse **de -5 % à -13 %** en 15 ans (selon l'indicateur observé), ce qui augmente proportionnellement l'impact du réseau et des centres informatiques.

Autre explication, complémentaire, le déploiement d'au moins **10 millions d'antennes** relais 4G et 5G (radio base station) entre 2010 et 2025 s'ajoute à l'impact des infrastructures réseau existantes, box DSL / fibre notamment.



+10 millions
D'ANTENNES RELAIS
DE 2010 À 2025

3.4.4 L'IMPACT PAR UTILISATEUR BAISSÉ PUIS AUGMENTÉ

L'empreinte numérique de chaque utilisateur baisse globalement entre 2010 et 2015 pour augmenter à nouveau à partir de 2017.

Cette « montagne russe » coïncide pour sa première partie entre 2010 et 2017 à une augmentation continue de l'efficacité énergétique, à l'augmentation de la durée de vie des équipements, et à un contexte économique peu propice au marché.

À partir de 2017, on note un plafonnement des gains d'efficacité énergétique, une relance économique mondiale qui relance les ventes d'équipements et le décollage des marchés émergents.

Par ailleurs, c'est aussi à cette période que de nombreux cas d'obsolescence programmée sont dénoncés dans le monde. On note aussi un croisement entre la baisse du taux d'équipement par utilisateur (impact des pays émergents qui s'équipent mais peu) et l'augmentation de la taille des écrans.



04 RECOMMANDATIONS

Quelques mesures simples permettraient de réduire considérablement l’empreinte environnementale du numérique mondial à l’horizon 2030 :

1. Réduire le nombre d’**objets connectés** en favorisant leur mutualisation et leur substitution et en ouvrant leurs APIs.
2. Réduire le nombre d’**écrans plats** en les remplaçant par d’autres dispositifs d’affichage : lunettes de réalité augmentée / virtuelle, vidéo projecteurs LED, etc.
3. Augmenter la **durée de vie** des équipements en allongeant la durée de garantie légale, en favorisant le réemploi, et en luttant contre certaines formules d’abonnement.
4. Réduire les **besoins des services numériques** via leur écoconception.

Mises en œuvre dès 2010, ces 4 mesures auraient permis de **réduire de 27 % à 52 %** l’empreinte du numérique mondial sur la période observée (2010 à 2025). C’est à dire de maintenir l’empreinte 2025 du numérique à son niveau de 2018 malgré l’ajout de 1,1 milliard d’utilisateurs supplémentaires.

4.1 LIMITER LE NOMBRE D’OBJETS CONNECTÉS

La croissance exponentielle du nombre d’objets connectés (de 1 milliard en 2010 à 48 milliards en 2025) s’accompagne d’une hausse de leur contribution aux impacts de l’univers numérique de moins de 1% en 2010 à entre 18 % et 23 % en 2025. C’est énorme !

La seule solution pour réduire leurs impacts est de réduire leur nombre. Outre la sensibilisation du grand public et des pouvoirs publics aux impacts environnementaux de ces objets, il faut surtout trouver des solutions techniques pour les mutualiser et de nouveaux modèles d’affaires qui permettent d’en tirer de la valeur économique.

La **mutualisation** est le premier levier de réduction d’impacts, et de création de valeur pour les acteurs économiques qui sauront s’en saisir. Elle consiste, par exemple à l’échelle d’un immeuble, à agréger les modems DSL / fibre et les boîtiers TV associés via un seul dispositif centralisé. De quoi réduire considérablement l’impact du réseau. Pour rappel, c’est le dernier kilomètre (notamment la box DSL / fibre) qui concentre le gros des impacts.

Or, il n'y a aucune raison technique à ce que chaque appartement d'un immeuble soit équipé de sa propre connexion internet. Dans les entreprises, la connexion internet est mutualisée depuis 20 ans et cela ne pose plus aucun problème de débit ou de qualité. Bien au contraire. A l'échelle d'un habitat collectif, on peut imaginer de nombreuses autres mutualisations : imprimante, vidéo-projecteur, console de jeu vidéo, etc.

Une autre piste, complémentaire de la mutualisation d'un même équipement entre plusieurs utilisateurs, consiste à substituer plusieurs équipements par un seul. Il s'agit par exemple de remplacer les 3 compteurs intelligents (eau, gaz, électricité) par un seul, ou du moins d'en mutualiser certaines parties sans valeur ajoutée et mutualisables entre les équipements : le modem par exemple. Car si les capteurs sont vraiment spécifiques aux flux mesurés, le moyen de transmission de l'information peut être mutualisé.

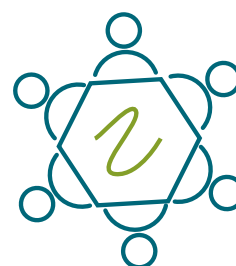
Enfin, il est possible **d'allonger la durée de vie des objets connectés en ouvrant leurs APIs**. Ces interfaces de programmation servent notamment à échanger des données entre l'objet connecté et les serveurs du fabricant ou de ses partenaires. Aujourd'hui, ces interfaces de communication sont fermées, un peu comme une télévision qui serait bloquée sur une seule chaîne. En incitant (ou obligeant) les fabricants d'objets connectés à ouvrir leurs APIs, on garantit que l'objet peut être utilisé même si le fournisseur de données / contenu disparaît : il suffit de changer de chaîne ! On allonge ainsi mécaniquement la durée de vie de ces objets, ce qui permet d'amortir sur une plus longue durée d'utilisation les impacts liés à leur fabrication.

Hypothèse 1

2 fois moins d'objets connectés en 2025

Gains H1 environnementaux en 2025 (en unité et % de l'empreinte business as usual)

Énergie	993 Twh	10 %
GES	257 millions de tCO ₂ éq.	11 %
Eau	946 millions de m ³	9 %
ADP	3 millions de t eq. SB	9 %
Électricité	169 Twh	9 %



4.2 RÉDUIRE LA TAILLE DES ÉCRANS PLATS

Bien que des progrès aient été réalisés de la part des fabricants d'écran plat, l'impact de cet équipement reste prépondérant. Le doublement de la diagonale moyenne de 31 pouces à 65 pouces sur la période 2010-2025 contribue très significativement à l'augmentation des impacts de l'univers numérique. Il faut donc trouver des solutions alternatives d'affichage qui répondent à la fois aux envies des utilisateurs et aux enjeux du développement durable.

Les lunettes de réalité virtuelle (VR) peuvent être une solution judicieuse pour des usages en solo. Cependant, l'enjeu numéro un est de trouver une alternative à l'écran géant qui trône fièrement au milieu du salon.

Les vidéo-projecteurs LED peuvent s'avérer intéressants. Grâce aux progrès réalisés en matière de consommation électrique (par rapport aux technologies précédentes), ils permettent d'augmenter fortement la diagonale actuelle (souhait des consommateurs) tout en réduisant considérablement les impacts associés à la fabrication (comparativement à un écran plat).

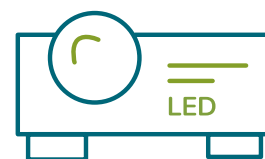
Ces gains à la fabrication compensent largement l'augmentation de la consommation électrique sur la phase d'utilisation. Evidemment, dans les habitats collectifs tels que les immeubles, l'approche la plus judicieuse peut consister à créer des espaces home cinéma partagés afin de mutualiser les équipements tout en offrant une meilleure prestation. Cf 4.1.

Hypothèse 2

Basculement de 50 % des grands écrans sur vidéo-projecteur LED

Gains H2 environnementaux en 2025 (en unité et % de l'empreinte business as usual)

Énergie	514 Twh	5 %
GES	124 millions de tCO ₂ éq.	5 %
Eau	1319 millions de m ³	12 %
Ressources	1 millions de t eq. SB	4 %
Électricité	56 Twh	3 %



4.3 ALLONGER LA DURÉE DE VIE



La fabrication des équipements étant la principale source d'impacts (**30 à 76 % de l'empreinte du numérique mondial** selon l'indicateur observé), il faut en fabriquer moins et les utiliser plus longtemps.

Quatre mesures clés ne sont toujours pas mises en oeuvre :

- L'allongement de la durée de **garantie légale** ;
- La **consigne** pour les EEE afin d'augmenter le taux de collecte des DEEE ;
- L'interdiction des offres de **réengagement** contre des équipements à « 1 euros » ;
- Une directive « **réemploi** » pour compléter la directive « WEEE ».

L'allongement de la durée de garantie légale [2] est une mesure à la fois simple à mettre en oeuvre, simple à comprendre pour les consommateurs, et très efficace pour l'environnement. Aujourd'hui, la durée de garantie légale (2 ans en France) est souvent totalement déconnectée de la durée de vie réelle des équipements : 5 à 7 ans pour un ordinateur portable, 7 à 10 ans pour écran d'ordinateur, plus de 6 ans pour une télévision, etc. Malheureusement, l'Europe harmonise actuellement à la baisse la durée légale de garantie...

En France, comme dans les autres pays occidentaux, pour diverses raisons trop longues à évoquer dans cette étude, le taux de collecte des déchets d'équipements électriques et électroniques plafonne autour de 45 %. C'est encore pire dans le reste du monde. La seule mesure relativement simple à mettre en oeuvre et qui a prouvé son efficacité par le passé est le retour de **la consigne**. Avec une consigne suffisamment élevée (de l'ordre de 10 % minimum du prix de l'équipement) pour dissuader le consommateur de s'en passer, on peut rapidement atteindre des taux de collecte de plus de 80 % à 90 % des équipements numériques hors d'usage, partout dans le monde.

Compte tenu de l'empreinte de nos usages numériques, est-il encore acceptable en 2019, de pousser les consommateurs à se séparer de smartphones parfaitement fonctionnels via des offres promotionnelles de type « smartphone à 1 euro contre un réengagement 24 mois » ? Certainement pas. **L'interdiction des offres de « réengagement contre smartphone à 1 euros »** – ou à défaut l'affichage obligatoire de la part du coût réel du mobile dans l'offre de réengagement - permettrait d'allonger significativement la durée de vie des smartphones qui n'est que de 2 ans dans les pays occidentaux.

Enfin, il est indispensable d'articuler la directive européenne Waste of Electrical and Electronics Equipments (WEEE) existante, centrée sur la gestion aval (déchets), avec **une nouvelle directive « réemploi »** permettant d'encadrer efficacement l'approche amont : reconditionnement pour réemploi des équipements numériques fonctionnels. En effet, le réemploi des appareils numériques est une clé fondamentale pour réduire leur empreinte.

Or, faute d'un cadre légal strict, le réemploi peine à se développer dans le secteur numérique. D'une part, les grandes organisation privées/publiques, qui sont les principaux fournisseurs de « matière première » de l'industrie du reconditionnement, craignent de retrouver leurs ordinateurs dans une décharge en Afrique. D'autre part, les consommateurs craignent de se faire avoir avec un équipement de seconde main peu / pas fiable. Un cadre légal plus strict répondrait efficacement à ces deux enjeux.

En complément, il est tout à fait possible :

- d'augmenter la durée de garantie légale des biens reconditionnés (actuellement de 6 mois
- et d'imposer une traçabilité des équipements pour lutter efficacement contre l'exportation illégale de nos DEEE au Ghana et en Asie (entre autres).

D'autres mesures de ce type sont présentées dans le livre blanc « **50 mesures pour une consommation et une production durable** » publié en février 2019 par l'Association Halte à l'Obsolescence Programmée (HOP). Voir bibliographie.

Hypothèse 3

Augmentation de 30 % de la durée de vie des équipements utilisateurs sur 15 ans.

Gains environnementaux (% de l'empreinte 2025 business as usual)

Énergie	1683 Twh	17 %
GES	405 millions de tCO₂ éq.	18 %
Eau	2607 millions de m³	24 %
ADP	6 millions de t eq. SB	21 %
Électricité	244 Twh	13 %

4.4 ÉCOCONCEVOIR LES SERVICES NUMÉRIQUES

L'écoconception des services numériques visent à réduire leurs impacts environnementaux dès leur conception. Pour y parvenir on cherche à réduire la quantité de ressources informatiques - puissance du terminal, bande passante, nombre de serveurs, etc. - nécessaires pour réaliser l'acte métier qui définit le service numérique : trouver l'horaire d'un train, prendre rendez-vous chez un médecin, communiquer via un e-mail, etc.

En réduisant la quantité de ressources nécessaires, on :

- réduit mécaniquement les impacts liés à la non-fabrication des ressources inutiles ;
- allonge la durée de vie des terminaux utilisateurs.

Depuis 10 ans, les retours d'expérience en France et en Europe montrent qu'il est possible de diviser par un facteur 2 à 100 la quantité de ressources nécessaires.

Hypothèses 4

- **Réduction des besoins serveurs d'un facteur 2**
- **Réduction de la quantité de données transmises de 20 %**
- **Augmentation de 40 % de la durée de vie des équipements utilisateurs sur 15 ans.**

Gains environnementaux (% de l'empreinte 2025 business as usual)

Énergie	1967 Twh	20 %
GES	422 millions de tCO ₂ éq.	19 %
Eau	2699 millions de m ³	25 %
ADP	7 millions de t eq. SB	22 %
Électricité	349 Twh	18 %

4.5 IMPACT DES PRÉCONISATIONS ET CONCLUSION DE L'ÉTUDE

En valeur relative, ces préconisations permettent de réduire l'empreinte par utilisateur de **-27 % (GES) à -52 % (Eau)** selon l'indicateur observé entre 2010 et 2025. Elles sont essentielles à la fois parce qu'elles permettent de prendre le relais des gains d'efficacité énergétique qui se tassent nettement, et, d'autre part, parce que les deux préconisations principales - allongement de la durée de vie et écoconception – sont également des axes de compétitivité pour la France [3].

En valeur absolue, le cumul des gains apportés par ces 4 préconisations permet de contenir l'empreinte 2025 au niveau de 2018, mais avec **1,1 milliards d'utilisateurs** en plus.

Cependant, si ces impacts évitables seraient déjà très appréciables, nous sommes encore très loin du facteur 4 [5] nécessaire pour un développement durable. Pour rappel, en 2019, l'empreinte GES d'un utilisateur moyen est de l'ordre de 356 kg équivalent CO₂, soit 20 % de son « forfait GES annuel » de 1,7 tonne équivalent CO₂. C'est encore trop.

Compte tenu des enjeux évoqués, il n'est plus acceptable d'augmenter volontairement notre empreinte numérique uniquement pour doper l'économie. Car c'est finalement la raison principale de la croissance effrénée des impacts du numérique.

Il est donc nécessaire de changer de « braquet » et de modèle pour basculer aussi vite que possible vers une sobriété des usages numériques, mais aussi des technologies elles-mêmes.

Au rythme actuel, le numérique sera considéré comme une ressource critique d'ici moins d'une génération.

Au-delà des recommandations simples et faciles à mettre en œuvre présentées ci-dessus, nous militons donc, notamment, pour

1. **le développement d'une « low-tech numérique » ;**
2. **une articulation effective entre « low » et « high » tech numérique ;**
3. **une écoconception radicale des services numériques.**

L'idée de **la low-tech numérique** [4] est d'utiliser des technologies numériques robustes, simples, peu impactantes et très largement répandues : 2G, SMS, etc. pour répondre aux besoins quotidiens. De nombreux retours d'expérience ces 10 dernières années montrent que cette démarche n'est pas synonyme de régression et qu'au contraire elle reçoit un accueil très favorable des utilisateurs.

L'écoconception radicale vise quant à elle à articuler l'usage des ressources low et high tech numériques pour répondre au mieux aux besoins de l'humanité tout en réduisant considérablement notre empreinte numérique. Pour conclure sur un exemple simple, il n'est pas nécessaire de disposer d'un smartphone dernière génération connecté en 4 ou 5G pour accéder à des prévisions météo. Un simple SMS permet de transmettre le bulletin sur un téléphone portable en 2G. En revanche, le calcul des prévisions météorologiques nécessite lui de recourir à des technologies évoluées.

Ce n'est qu'en adoptant cette posture de sobriété et cette pensée systémique que nous pourrons construire un avenir numérique plus enviable et en faire un outil efficace au service de la résilience de l'humanité face à l'effondrement en cours.

05 ANNEXES, NOTES MÉTHODOLOGIQUES

5.1. MODÈLE ET UNITÉ FONCTIONNELLE

5.1.1 UNITÉ FONCTIONNELLE

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'empreinte environnementale du numérique mondial. L'unité fonctionnelle considérée est « utiliser le numérique mondial pendant un an ».

5.1.2 PHASES DU CYCLE DE VIE CONSIDÉRÉES

La fabrication et l'utilisation des équipements ont été prises en compte.

Les impacts associés à la distribution et à la fin de vie des équipements ont été exclus du périmètre général de l'étude. La distribution a globalement peu d'impacts comparée aux autres phases. La fin de vie des équipements n'a pas été prise en considération car aucun facteur d'impact fiable n'existe à l'échelle internationale. En effet, 70 % des DEEE mondiaux font l'objet d'un trafic. Si bien qu'il est impossible de connaître les impacts logistiques (transport des déchets) ainsi que ceux associés à leur « recyclage ».

5.1.3 MODÈLE

Le modèle utilisé repose sur les 15 années d'expérience de GreenIT.fr en matière de quantification d'impacts environnementaux du numérique. Nous avons choisi une architecture trois tiers classique : utilisateur, réseau, centres informatiques.

Pour les terminaux nous avons suivi une approche par inventaire, c'est-à-dire que nous avons quantifié les impacts à partir de l'inventaire (nombre d'équipements en fonctionnement) chaque année entre 2010 et 2025. Cet inventaire n'existant pas, nous l'avons reconstitué à partir des chiffres de ventes et de la durée de vie moyenne. En plus de ces deux dimensions, nous avons introduit de nombreux paramètres pour affiner le modèle : amélioration de l'efficacité énergétique des équipements, augmentation de la taille des écrans, variations dans le temps de ces paramètres, etc.

Pour le réseau, nous avons utilisé un modèle hybride, sur inventaire pour les équipements constituant le dernier kilomètre (edge) et en fonction de la quantité de données transférées pour le cœur de réseau opérateur (core). Le modèle tient compte de l'évolution de la répartition des technologies : DSL, fibre, 2G, 3G, 4G, etc.

Enfin pour les centres informatiques (data center), nous avons estimé les impacts en partant du nombre de serveurs en activité. Outre le calcul du nombre de serveurs en activité, basé sur 3 approches différentes et convergentes, nous avons échantillonné l'impact moyen global d'un serveur en nous basant sur l'étude de 3 ACV de centre informatique que nous avons réalisé entre 2015 et 2018. Chaque serveur intègre donc un peu de bâtiment, de groupes froids, d'autres équipements informatiques, etc.

Plus globalement, le modèle tient compte de nombreux autres paramètres globaux tels que l'évolution de la répartition géographique du numérique sur les 15 dernières années, de l'évolution des impacts liés à la production de l'électricité, etc.

5.2. FRONTIÈRES DU SYSTÈME ET CRITÈRES DE COUPURE

5.2.1 FRONTIÈRES DU SYSTÈME

Exclusions

Les flux suivants sont exclus de l'analyse :

- La fabrication et la maintenance des installations et des machines de production
- La construction et la maintenance de l'infrastructure (bâtiment) sauf pour les centres informatiques
- L'éclairage, le chauffage, les sanitaires et le nettoyage des infrastructures,
- Le traitement des équipements en fin de vie
- La production des emballages de distribution des équipements.

Ces flux sont usuellement exclus des périmètres pour des produits manufacturés de grandes séries, ce qui est le cas des équipements numériques.

Les consommables d'impression (papier, toner et cartouches) n'ont pas été pris en considération, non que leur impact soit négligeable mais parce que nous ne disposions pas de données assez solides pour les inclure. Et également parce que nous souhaitons rester sur un bilan en eau bleue. Issu de végétaux, le papier nous aurait obligé à prendre en considération l'eau verte complexifiant le bilan eau avec deux périmètres différents.

Inclusions

Nous avons inclus la fabrication des bâtiments des centres informatiques (data center) car ils sont construits spécifiquement pour héberger des équipements informatiques et télécoms, contrairement aux habitations et aux bureaux des utilisateurs.

Pour la même raison, nous avons pris en compte les fibres optiques et les câbles téléphoniques (cuivre) qui constituent le réseau physique reliant les utilisateurs entre eux et aux centres informatiques.

Ces deux éléments – centres informatiques et réseaux physiques – contribuent par ailleurs significativement à la masse du numérique mondial.

5.2.2 CRITÈRES DE COUPURE

Une analyse du cycle de vie simplifiée a été réalisée, c'est-à-dire que l'ensemble des informations disponibles relatives au périmètre de l'étude a été pris en considération. Cependant, aucun critère de coupure massique, énergétique ou d'impact n'a pu être clairement identifié.

5.3. INVENTAIRE

Ci-dessous une liste des équipements pris en considération.

Utilisateur	Réseau	Centres informatiques
Smartphones	Box particuliers + entreprises	Serveurs
Téléphones mobiles	IP / PABX	Autres équipements informatiques
Téléphones filaires et DECT	Point d'accès Wi-Fi	
Tablettes	Equipements actifs réseau	
Ordinateurs portables	(routeurs)	
Ordinateurs de bureau (UC)	Core network	
Ecrans		
Vidéo-projecteurs		
Boîtier TV (décodeur)		
TV		
Console de jeu		
Imprimantes		
Objets connectés		

5.4. DURÉE DE VIE ET TAUX D'ÉQUIPEMENT

Durée de vie.

Les durées de vie proviennent des études que nous avons réalisées précédemment, notamment WeGreenIT [6] réalisée pour le WWF et le Club Green IT, et d'autres études telles que celles de l'Ademe [11].

Taux d'équipements.

Le taux d'équipement est utilisé essentiellement pour l'estimation de l'empreinte des centres informatiques. Il est basé sur 4 études : le taux d'équipement des centres informatiques de 26 grandes entreprises françaises (WeGreenIT) et l'étude de 3 ACV de centres informatiques que nous avons réalisé entre 2015 et 2018.

5.5. CONTRÔLE DE COHÉRENCE

Tout au long du projet nous avons réalisé des centaines de contrôles de cohérence pour nous assurer que les ordres de grandeurs manipulés étaient en ligne avec le terrain. Ces contrôles ont été réalisés à deux niveaux : macro pour nous assurer que nos estimations pour le monde entier étaient en ligne avec d'autres études ; et micro. Par exemple, pour l'évolution de la consommation électrique des ordinateurs portables (laptop) nous avons vérifié la fiche technique d'un même modèle dans le temps (du Thinkpad T60 d'IBM au Thinkpad T495 de Lenovo). Autre exemple, nous avons comparé les taux d'équipements de notre modèle avec ceux d'études ciblées sur cette problématique.

En plus de ces contrôles permanents, nous avons soumis la synthèse de nos résultats à plusieurs chercheurs, expert-e-s, et auteurs d'autres études du même types et chercheurs.

5.6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bihouix P., L'Âge des low-tech, Seuil, 2014.
- [2] Idrii, Fing, WWF, GreenIT.fr et CNNUm, Livre blanc Numérique et Environnement, 2018
- [3] Collectif conception numérique responsable, « Faire de l'éco-conception de service numérique une filière d'excellence », Les Echos, 2019
- [4] Bordage F., « Sobriété numérique : les clés pour agir », Buchet-Chastel, 2019
- [5] A. Lovins & al., Facteur 4 : deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources. Rapport au Club de Rome, Terre vivante, 1997
- [6] WeGreenIT : quelles démarches Green IT pour les grandes entreprises françaises, WWF France, 2018
- [7] IEA, World Energy Outlook, 2019
- [8] IEA, World Energy Outlook 2018 Electricity, 2018
- [9] Our world in data, Fresh water use, 2017
- [10] Global Carbon Project , Carbon budget 2018, 2019
- [11] Ademe, Smartphones, des téléphones pas si « smart » pour l'environnement, 2017